

# 論文内容要旨 (和文)

平成18年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 環境保全科学講座

氏 名 今野 進



論文題目 Palaeoceanographic reconstruction of the Holocene Chukchi Sea and phytoplankton studies in the Bering Sea

(完新世チュクチ海の古環境復元およびベーリング海の植物プランクトン研究)

本研究は、JAMSTEC所属海洋地球研究船「みらい」MR06-04航海(2006年8~9月)・MR00-01航海(2000年1月)、学術研究船「白鳳丸」KH99-3航海(July-August, 1999年7~8月)、NERC属王立調査船「Charles Darwin」CD37航海(1989年3月)により採取された海水・海氷について電子顕微鏡を用いた詳細な現生の植物プランクトン群集解析を行うこと、およびUSCGC所属砕氷観測船「Healy」HLY0501航海(2005年6月)により採取されたコア堆積物について珪質微化石を用いた古環境解析を行うことを目的としている。

MR06-04航海中に、2000年以来6年ぶりのホワイトウォーター現象が発生した。ホワイトウォーター現象とは、海水が円石藻などの植物プランクトンの大発生によって太陽光を乱反射するために白く見える現象である。航海中に1997年・1998年・2000年に続くベーリング海における4度目の円石藻*Emiliania huxleyi*の大発生が起こった。*E. huxleyi*には、4つのタイプ(Young & Westbrook, 1991, Young *et al.*, 2003)がある。今回の大発生で観察した*E. huxleyi*を電子顕微鏡で観察し、円石の中心部分および外殻部分の計測を行った結果は、ベーリング海域で通常生息しているType Cとは異なる結果となった。そのため、他のベーリング海・北太平洋西部・東部の*E. huxleyi*の計測を行ったところ、大発生以外の場所での*E. huxleyi*はType Cの範囲であり、大発生した*E. huxleyi*はそれよりも大きいという結果になり、大発生種をType Bloomと4タイプとは別のタイプとした。さらにType Bloomの分布および1 Lあたりの生息密度を観察し、分布の範囲が大陸棚上の浅海域・低塩分であり、300万cells/Lを超える生息密度がある場所を観察した。

また*E. huxleyi*を観察中に円石藻*Braarudosphaera bigelowii*を発見した。*B. bigelowii*は、第四系では沿岸堆積物から多産し外洋堆積物からほとんど産出しないため第四紀研究で沿岸環境の指標種とみなされている(Martini 1967, Takayama 1972, Tanaka 1991, Okada, 1992)。ベーリング海では、円石藻の出現数・種ともに少なく*E. huxleyi* Type Cと*Coccolithus pelagicus*が主な出現種である(Takahashi *et al.*, 2002; Tanimoto *et al.*, 2003; Hattori *et al.*, 2004)。*B. bigelowii*がベーリング海の陸棚上、さらに*E. huxleyi* Type Bloomとともに観察できた。ベーリング海で観察されたことは本研究が初めてであり、経度63°Nで観察できたことは現生の*B. bigelowii*の北限がこれまでのオホーツク海(Broerse *et al.*, 2000)から北延したことを意味する。さらに円石が平面ばかりの個体やへこんだ面ばかりの個体の2種類存在することが分かり、また円石の周辺が‘intermediate B’(Takano *et al.*, 2006)の特徴を持つことも観察できた。ベーリング海は現在「珪藻の海」と呼ばれているが、ホワイトウォーター(円石藻の大発生)の発生の頻発とその要因の1つと考えられる温暖化に関してさらに考察する必要がある。

上記の研究中、表層水に多くのパルマ藻と呼ばれる大きさ2~5μm程度の珪質植物プランクトンを観察することが出来た。パルマ藻は極域で約30年前に発見され(Iwai & Nishida, 1976)、被殻構造解析が行われた(Booth *et al.*, 1981; Booth & Marchant 1987)。しかし、パルマ藻は非常に小さく電子顕微鏡での観察が必要であり、海洋植物プランクトン研究者の多くが光学顕微鏡で観察しているため、精度の高い研究があまり行わなかった。

(10pt 2,000字程度 2頁以内)

本研究による詳細観察の結果、被殻構造が異なることを明らかにし、新たな被殻構造を示した。さらにこの新たな被殻構造解析を用い、北太平洋・ベーリング海・チュクチ海において6種の新種を記載し、合わせて10種を観察し、北極の太平洋側でのパルマ藻の分類同定を行った。海域によっては、珪藻を上回る生息密度で示すことがあることが明らかになり(Tanimoto *et al.*, 2003), Komuro *et al.*, (2005)より夏期に多く観察されることが報告されている。そのため、パルマ藻が海洋の一次生産に少なからず貢献している可能性も考えられる。堆積物としての報告はStradner & Allram(1982)と Thorn(2004)のみであり、大部分が表層で融解している可能性が高いと思われる。融解していると仮定するとベーリング海等の表層での常に高い珪素の保持状態を説明できると考えられる。

MR06-04航海ではチュクチ海において、海氷試料の採取とともに海水試料も採取した。そこで海氷・氷縁海水・低温海域での珪藻群集の比較を行った。海氷: *Caloneis*属, *Navicula*属, *Pseudogomphonema*属などの海氷付着性種, 氷縁海水: *Fragilariopsis*属, *Fossilula*属, *Nitzschia*属, *Chaetoceros*属などの氷縁で低温高栄養種, 低温海域: *Chaetoceros*属, *Proboscia*属, *Leptocylindrus*属, *Rhizosolenia*属などの円心目珪藻が多く観察でき、それぞれの環境で異なる群集構成となることが明らかになった。この結果をもとにHLY0501航海のチュクチ海で採取されたコア堆積物の古環境解析を行った。

これまでチュクチ海より採取されたピストンコア堆積物は、微化石による詳細な古環境解析には短すぎる、もしくは、微化石が全く含まれていないものだった(Darby & Bischof, 2004)。HLY0501航海では大陸棚上および大陸斜面上(Chukchi - Alaskan margin)において10m以上の比較的良質なコア堆積物が得られた。さらに本研究による観察からCORE5(大陸斜面-水深415m)およびCORE8(大陸棚-水深90m)に大きさが微小であるが珪藻が含まれていることが明らかになり、珪質微化石を用いた古環境解析が可能となった。他のコア堆積物は砂質堆積物が多く珪質微化石は観察することができなかった。CORE5およびCORE8は、二枚貝などによる炭素年代測定の結果(Stuiver *et al.*, 2005)から完新世から更新世までのコア堆積物であることが明らかになり、ベーリング海峡の開通後の堆積記録を珪質微化石を用いて古環境解析を行えることとなった。コア堆積物の構成としては、CORE5では約8300年以前、CORE8では約7500年以前は砂質堆積物ばかりで珪質微化石は観察できなかった。CORE8に関して、約7500-7000年前、約6000年前、約5000年前、約4000年前に存在量の急増が見られた。これは、極域の完新世の温暖化が進んだ時期と対応している。しかし、CORE5では徐々に存在量が増え約3000年前に一度ピークが見られるがほぼ一定の増加傾向のみが見られた。このことから存在量は、大陸棚では温暖化などのイベントに強く反応を起こしやすいが、斜面ではそれほど強く反応しないのではないかと考えられる。珪質微化石の構成は、CORE5およびCORE8ともに *Chaetoceros*属の休眠胞子が約50%以上を占める結果となった。次いで海氷性および氷縁性珪藻が多く観察できた。温暖化イベントに関連して特にCORE5において、沿岸性種・大洋性種の割合が増加していた。これは、温暖なために降雨による河川水の増加と海氷の減少による海が開けた状態が長く続いたのではないかと考えられる。CORE5では、珪質微化石が堆積しはじめる約8300年前周辺では氷縁珪藻が多く占めた。CORE5およびCORE8は温暖化イベント以外ではほぼ一定傾向が見られ現在と比較的似ている環境が続いていたと考えられる。



# 論文内容要旨 (英文)

平成18年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 環境保全科学講座

氏 名 今野 進



論文題目 Palaeoceanographic reconstruction of the Holocene Chukchi Sea and phytoplankton studies in the Bering Sea

The purpose of this research is to make detailed observations with the scanning electron microscope of living phytoplankton assemblages in seawater and sea ice samples, collected during the MR06-04 (August-September, 2006) and MR00-01 (January, 2000) cruises of the R/V *Mirai*, the KH99-3 (July-August, 1999) cruise of the R/V *Hakuho Maru*, and the CD37 (January-April) cruise of the R.R.S. *Charles Darwin*, and use this information to reconstruct the palaeoenvironment of the Chukchi Sea using siliceous microfossils in cores obtained on the HLY0501 (June, 2005) cruise of the USCGC *Healy*.

The occurrence of an extensive coccolithophore (*Emiliana huxleyi*) bloom in the southeastern Bering Sea was witnessed during the MR06-04 cruise in 2006, for the first time since 2000. The 'white water' phenomenon is caused by millions of coccoliths ( $\text{CaCO}_3$  scales) being released into the surrounding seawater by the bloom during the senescent growth phase, and near the centre of the bloom, cell concentrations often exceeded 3 million cells/litre. Since calcite is a birefringent mineral, the scattered light from the coccoliths can be seen by orbiting satellites. Although *E. huxleyi* has four morphotypes, only type A coccoliths were associated with the bloom, despite the presence of patches of type C *E. huxleyi* in other areas of the Bering Sea and in the western and eastern subarctic Pacific. However, in this study it was noted that type A coccoliths produced in subpolar waters are morphologically different from those produced in tropical waters, thus in this thesis the subpolar type is referred to as type 'Bloom'. To determine the geographic extent of the bloom, a biometric study was carried out on the coccoliths in the Bering Sea surface waters, by taking measurements of the distal shield and central area. In this way, type C coccoliths normally associated with patches could be distinguished from the type 'Bloom' coccoliths.

This study also revealed that the highest boreal latitude occurrence of another coccolithophore, *Braarudosphaera bigelowii*, is in the Bering Sea. This species exhibits two coccosphere morphotypes, one possessing pentoliths with flat faces and the other with concave faces. After conducting a biometric study on the coccoliths it was clear that most of the coccospheres correspond to the 'intermediate B' form. The presence of *B. bigelowii* in the bloom supports its presumed ecology in low salinity, nutrient-rich coastal areas.

(12ptシングルスペース 300語程度)

During the above study it was noticed that away from the bloom the surface waters often contained large amounts of *Parmales*, siliceous scaly algae about 2-5  $\mu\text{m}$  in diameter. Although they were discovered over 30 years ago, little is known about their general ecology, and their taxonomy and cell wall construction is also poorly understood. Using the samples collected on various cruises, the taxonomy of these microalgae was significantly improved with six new taxa described and the plate configuration of their cell walls was correctly elucidated.

The sea ice samples collected in the Chukchi Sea were thoroughly investigated and the diatoms photographed by light and scanning electron microscopy. In this study it was shown that the sea ice assemblage was generally composed of species of *Caloneis*, *Navicula* and *Pseudogomphonema*, whereas the ice edge assemblage was characterized by species of *Fragilariopsis*, *Fossula*, *Nitzschia* and *Chaetoceros*. In the surrounding seawater, species of *Chaetoceros*, *Proboscia*, *Leptocylindrus* and *Rhizosolenia* were most numerous. Thus, the species in the assemblages can be used as indicators of distinct habitats when reconstructing the palaeoenvironmental record of a piston core.

Two cores, Core 5 and Core 8, were obtained during the HLY0501 cruise of the USCGC *Healy*. Previous attempts to acquire long piston cores had failed, due to the poor recovery of sediments or the recovery of sandy sediments which lacked well preserved microfossils. The two cores noted above were both over 10 metres long and possessed well preserved diatoms and silicoflagellates, although there were sandy sediments barren of siliceous microfossils in the bottom sections of the cores. Core 5 was obtained from the continental slope (415 m water depth), whilst Core 8 was from the continental shelf (90 m water depth). In Core 8 there were rapid increases in the absolute abundance of diatoms at about 4000, 5000 and 6000 years B.P. and between 7000-7500 years B.P. However, in Core 5 the diatom abundance increased gradually, with only one peak around 3000 years B.P. In both cores *Chaetoceros* spores represented over 50% of the total diatom abundance, and a lot of sea ice and ice edge diatoms were present. In Core 5 the percentages of both coastal and oceanic diatoms increased in warming events, which were possibly associated with less sea ice cover and increases in freshwater input to the Chukchi-Alaskan margin. Apart from these warm events the assemblages of the two cores were very similar, suggesting comparable oceanic conditions prevailed at the two sites.

専 攻 名	地 球 共 生 圏 科 学 専 攻	氏 名	今 野 進
学位論文の審査結果の要旨			
<p>この学位論文は、MR0604航海(2006年8月から同年9月)・HLY0501航海(2005年6月)などによって、北太平洋・オホーツク海・ベーリング海・チュクチ海で得られた海水試料およびチュクチ海で得られた海底堆積物試料についての研究成果をまとめたものである。論文は次の3つの章から構成されている。</p> <p>(1) 円石藻の大増殖現象：MR0604 航海中に遭遇したこの現象は円石藻 <i>Emiliania huxleyi</i> の大増殖で発生することが知られている。この現象が生じた東部ベーリング海の広域から多くの試料を採取し、分析を行った。その結果、大増殖を起こす <i>E.huxleyi</i> は、寒冷種の <i>E.huxleyi</i> とは異なっていることを明らかにした。さらに、珍しい円石藻の 1 種である <i>Braarudosphaera bigelowii</i> の出現はこの大増殖に関係するものであることを見出した。</p> <p>(2) パルマ藻の形態と分類：パルマ藻は極地海域のプランクトンであるが、その分類は明確ではなかった。本研究では、同藻類の正確な被殻構造パターンを見出し、1980 年代に報告されていた被殻構造の誤りを訂正し、更に亜北極海の様々な海域のパルマ藻を詳しく観察し、6 種の新種を発見、記載した。</p> <p>(3) チュクチ海でのコアの解析：HLY0501 航海の大陸棚(Core 8)と大陸斜面(Core 5)から採取されたコア試料を用い、珪質微化石の分析を行った。その結果、大陸棚では、完新世初期から中期には珪藻の生産力が高くなり、温暖化したこと、完新世新期には珪藻の生産力が減少し、寒冷化したことが明らかになった。他方、大陸斜面では完新世初期には珪藻の生産力が低く、完新世後期では生産力が高まった。これにより温暖化時にはアラスカ沿岸の海氷が早く融けるために、ベーリング海からの海流がアラスカ沿岸の近く(Core 8)を流れ、大陸棚上の海氷融解や栄養塩の湧昇などによる珪藻の成長季節が長くなり、珪藻の生産力を高めたものと考えた。しかし、寒冷化時には沿岸の海氷の融解速度が遅くなり、海流が沿岸近くを通過できずに、そのまま北方の大陸斜面(Core 5)方面に流れ、海氷の融解および珪藻の成長場所の変化が起き、完新世初期と後期では異なる傾向を示すことが明らかになった。</p> <p>以上、亜北極および北極域の航海で得られた諸試料の解析は上記3つのテーマで行われたが、いずれも基礎的研究に新知見をもたらすなど高度な学術的成果であり、博士の学位論文として十分に値するもので、合格と判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>公聴会と既公表論文をもって最終試験とした。公聴会では学位論文の内容の適切な表現と的確な応答がなされた。</p> <p>また、学位論文の内容の一部は、すでに高いレベルにある国際雑誌に3編公表されている。よって、最終試験は合格と判定した。</p>			